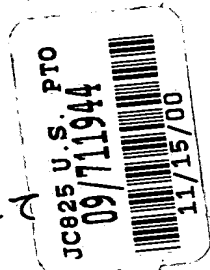


JP-9622
US

6334 US
走 8

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年11月16日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第326192号

出 願 人

Applicant (s):

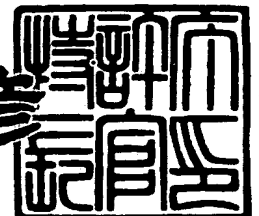
株式会社ニコン

#3
6 APR 01
P. Talbot

2000年 6月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3044369

【書類名】 特許願
 【整理番号】 99-00314
 【提出日】 平成11年11月16日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 H01L 21/027
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

【氏名】 小澤 謙

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代表者】 吉田 庄一郎

【代理人】

【識別番号】 100098165

【弁理士】

【氏名又は名称】 大森 聡

【電話番号】 044-900-8346

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019840

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9115388

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光方法、露光装置、及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パルスエネルギー源からパルス発振される露光ビームに対して第 1 物体と第 2 物体とを同期して移動すると共に、前記第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体上の複数の区画領域を順次走査露光する露光方法において、

前記第 2 物体上の複数の区画領域は目標露光量が異なる複数の区画領域を含み

前記複数の目標露光量のうちの少なくとも一つに基づいて、前記露光ビームの経路に配置された減光部材の透過率を設定し、

前記目標露光量の異なる複数の区画領域を露光するときに、前記減光部材の透過率の設定を変更せずに、前記目標露光量の各々に応じて露光量制御パラメータを調整することを特徴とする露光方法。

【請求項 2】 前記露光量制御パラメータは、前記露光ビームの前記第 2 物体の移動方向の幅と、前記第 2 物体の移動速度と、前記パルスエネルギー源による露光ビームの発振周波数と、前記パルスエネルギー源から発射される露光ビームのエネルギーとの内の少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の露光方法。

【請求項 3】 前記減光部材の透過率は、前記複数の露光量の内の最小露光量に基づいて設定されることを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 4】 前記第 2 物体上の中心からの距離に応じて異なる目標露光量が設定されることを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 5】 露光ビームで第 1 物体を照明し、該第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光方法において、

前記第 2 物体上の複数の区画領域に対する目標露光量を、互いに異なる複数のレベルに分けて設定しておき、

前記第 2 物体上の複数の区画領域に対して順次露光を行うに際して、

機械的な切り換え動作及び前記露光ビームのテスト発光動作の何れをも要する

ことなく変更できるパラメータを変更することによって、前記各区画領域に対する前記露光ビームの露光量を設定することを特徴とする露光方法。

【請求項 6】 前記第 2 物体上の複数の区画領域に対する目標露光量は、前記第 2 物体と同等の物体に対するテスト露光の結果によって予め設定されていることを特徴とする請求項 5 に記載の露光方法。

【請求項 7】 前記露光ビームはパルス光源から射出されるパルス光であり

前記第 2 物体上の各区画領域に対する露光は、それぞれ前記第 2 物体と前記第 1 物体とを前記露光ビームに対して同期移動することによって行われると共に、前記各区画領域に対して前記露光ビームの露光量を設定するために、前記パルス光源の発光周波数、前記パルス光源から射出される各パルス光の目標パルスエネルギー、及び前記第 2 物体の走査速度の内の少なくとも 1 つのパラメータを変更することを特徴とする請求項 5 に記載の露光方法。

【請求項 8】 前記露光ビームに対する透過率を切り換えることによって、前記露光ビームの前記第 2 物体上での照度を複数段階に亘って切り換える減光部材を使用し、

前記第 2 物体上の前記各区画領域に対する露光時に前記減光部材の透過率を共通の値に設定しておくことを特徴とする請求項 5、6 又は 7 に記載の露光方法。

【請求項 9】 前記減光部材の透過率を、前記第 2 物体上の前記各区画領域に対する目標露光量の内の最小露光量に基づいて設定しておくことを特徴とする請求項 8 に記載の露光方法。

【請求項 10】 露光ビームで第 1 物体を照明し、該第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光装置において

前記露光ビームとしてのパルス光を発生するパルス光源と、

前記第 1 物体及び第 2 物体を前記露光ビームに対して同期して移動するステージ系と、

前記第 2 物体上の複数の区画領域に対する目標露光量を、互いに異なる複数のレベルに分けて記憶してある記憶部と、

前記第 2 物体上の複数の区画領域に対して順次露光を行うに際して、前記記憶部に記憶してある目標露光量に基づいて前記パルス光源の発光周波数、前記パルス光源から射出される各パルス光の目標パルスエネルギー、及び前記ステージ系による第 2 物体の走査速度の内の少なくとも 1 つのパラメータを変更する制御系と

を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 1 1】 前記パルス光源と前記第 2 物体との間に、前記露光ビームに対する透過率を複数段階に切り換える減光部材を設けたことを特徴とする請求項 1 0 に記載の露光装置。

【請求項 1 2】 第 1 物体のパターンの像を投影光学系を介して第 2 物体上に投影することによって、前記第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光方法において、

前記第 2 物体、又は該第 2 物体に代わる評価用の物体からの反射光量を前記投影光学系を介して検出し、

該検出結果に基づいて、前記複数の区画領域の目標積算露光量を設定することを特徴とする露光方法。

【請求項 1 3】 第 1 物体のパターンの像を投影光学系を介して第 2 物体上に投影することによって、前記第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光装置において、

前記第 2 物体からの反射光量を前記投影光学系を介して検出する検出器と、

該検出器の出力に基づいて、前記複数の区画領域の目標積算露光量を設定する制御系と

を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 1 4】 前記検出器は、前記投影光学系の結像特性の調整のために併用されることを特徴とする請求項 1 3 に記載の露光装置。

【請求項 1 5】 前記検出器の出力は、前記第 2 物体上に塗布された感光膜の厚さに応じて異なることを特徴とする請求項 1 3 又は 1 4 に記載の露光装置。

【請求項 1 6】 前記制御系は、前記複数の区画領域のそれぞれの目標積算露光量を、前記検出器の出力に基づき、前記第 2 物体上のほぼ中心からの距離に

応じて設定することを特徴とする請求項 1 3、1 4、又は 1 5 に記載の露光装置。

【請求項 1 7】 請求項 1 ～ 9、及び請求項 1 2 の何れか一項に記載された露光方法を用いてデバイスのパターンをワークピース上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 1 8】 請求項 1 0、1 1、及び請求項 1 3 ～ 1 6 の何れか一項に記載された露光装置を用いてデバイスのパターンをワークピース上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程中で使用される露光方法及び装置に関し、特にパルス光源からの露光ビームを使用するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置で露光量制御を行う場合に使用して好適なものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来より半導体素子等を製造する際に使用されている投影露光装置における 1 つの基本的な機能として、被露光基板としてのフォトレジスト（感光材料）が塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の各ショット領域内の各点に対する積算露光量を適正範囲内に収めるための露光量制御機能がある。従来のステッパーのような一括露光型の投影露光装置での露光量制御としては、水銀ランプのような連続光源、又はエキシマレーザー光源のようなパルスレーザー光源の何れを使用する場合でも、基本的には照明光学系中の光電検出器よりなるインテグレータセンサを介して間接的に計測されるウエハ上での露光量の積算値が、所定の設定露光量（目標露光量）に対応する所定のクリティカルレベルを超えるまで露光を続けるというカットオフ制御が行われていた。

【0 0 0 3】

更に、露光光源としてパルスレーザ光源を用いる場合においては、パルスレーザ光毎にエネルギーのばらつきを有するため、所定の最小露光パルス数以上の複数のパルスレーザ光で露光することにより、所望の露光量制御精度再現性を得ていた。この場合、例えば高感度レジストを露光する際には、設定露光量が小さいため、例えば光路に設置された減光部材を用いてパルスレーザ光を減光することにより、最小露光パルス数以上のパルス数で露光できるようにしていた。

【0004】

更に近年使用されているステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置では、従来は単純に露光光（露光ビーム）としての各パルス光の光量を積算して露光量制御を行う方式（オープン露光量制御方式）が使用されていた。この制御方式においては、所望の露光量制御の直線性を得るために次の関係が成立するように、即ち、露光パルス数が整数になるように、パルスエネルギーを微調する必要がある。

【0005】

$$(\text{設定露光量}) = (\text{パルス数}) \times (1 \text{ パルスの平均エネルギー})$$

ここで、1パルスの平均エネルギーは露光直前にインテグレータセンサにて計測される値である。

これに対して、最近、特開平6-252022号公報で開示されているように、ウエハ上で走査方向に対してスリット状の露光領域（照野フィールド）に含まれる領域に対する積算露光量をパルス光毎にリアルタイムで計測し、その積算露光量に基づいて次のパルス光の目標エネルギーを個別に算出して、各パルス光のエネルギーを制御する方式（パルス毎露光量制御方式）も提案されている。このパルス毎露光量制御方式では、オープン露光量制御方式よりも積算露光量のばらつきを小さくすることができると共に、一括露光型の投影露光装置にも適用することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

上記の如く従来より、露光装置の露光量制御方式としては種々の方式が提案されているが、何れの方式でも例えば設定露光量を比較的大きいレンジで切り換え

る際には、所定の減光部材を用いて露光光（パルス光又は連続光）の強度を減光していた。この場合、その減光部材は通常は互いに異なる透過率を持つ光学フィルタを機械的に交換する方式であり、その透過率を切り換えた直後には露光光源のテスト発光を行って、その減光部材を通過した後の露光光の強度を計測し、この計測値に基づいて露光条件（パルス光であれば、ウエハ上の1点当たりの露光パルス数等）を再設定していた。

【0007】

さて、半導体製造工程中のレジストプロセスにおいては、ウエハ上のフォトレジストの膜厚の不均一性、これと関連するウエハ上のフォトレジスト内の定在波効果の不均一性、及び現像の不均一性等に起因して、ウエハ上に形成されるレジストパターンの線幅の誤差が生じる。このような線幅の誤差は、そのレイヤに形成される回路パターンの線幅の誤差になるため、今後半導体素子の回路パターンの集積度が更に向上すると、その線幅の誤差によって最終製品の歩留りが低下する恐れがある。そのようなレジストパターンの線幅の誤差を補正するためには、予めフォトレジストの塗布された複数枚の評価用のウエハを用いて積算露光量を所定量ずつ変えながらテストプリントを行い、実際に現像を行って各ショット領域毎にレジストパターンの線幅を計測し、計測値が設計値に最も近いときの露光量を当該ショット領域の設定露光量とすればよい。このように求められる目標露光量の分布は、一例としてウエハの中心に対してほぼ同心円状の分布となるため、全部のショット領域を複数のサブ領域に分けて、複数のサブ領域毎にそれぞれ設定露光量を定めるのが実用的と考えられる。この場合の複数のサブ領域間での設定露光量のばらつきは、例えば平均値に対して±10%程度であると考えられる。

【0008】

このようにウエハ上の複数のサブ領域に互いに異なる設定露光量が設定された場合に、ウエハ上の各ショット領域に対して順次露光を行う過程で、上記の減光部材を用いて露光光の強度を切り換えるものとする、その強度を切り換える毎にテスト発光等を行う必要がある。従って、ウエハ毎の露光時間が長くなり、露光工程のスループットが低下してしまう。

【0009】

本発明は斯かる点に鑑み、ウエハ等の基板上の複数の領域（サブ領域）に互いに異なる目標露光量で露光を行う際に、露光量の制御精度を低下させることなく、スループットの低下を防止できる露光方法及び露光装置を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、パルス光源を用いて走査露光方式で露光を行うに際して、基板上の複数の領域に互いに異なる目標露光量で露光を行う場合に、露光量の制御精度の低下、及びスループットの低下を防止できる露光方法及び露光装置を提供することを第2の目的とする。

【0010】

また、本発明は、そのウエハ等の基板上の複数の領域での目標露光量を迅速に設定できる露光方法及び露光装置を提供することを第3の目的とする。

また、本発明は、その露光方法を用いて高精度のデバイスを製造できるデバイス製造方法を提供することをも目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明による第1の露光方法は、パルスエネルギー源（1）からパルス発振される露光ビームに対して第1物体（11）と第2物体（14）とを同期して移動すると共に、前記第1物体のパターンを経た露光ビームで第2物体上の複数の区画領域（31(2,1)～31(5,6)）を順次走査露光する露光方法において、前記第2物体上の複数の区画領域は目標露光量が異なる複数の区画領域を含み、前記複数の目標露光量のうちの少なくとも一つに基づいて、前記露光ビームの経路に配置された減光部材（3）の透過率を設定し、前記目標露光量の異なる複数の区画領域を露光するときに、前記減光部材の透過率の設定を変更せずに、前記目標露光量の各々に応じて露光量制御パラメータを調整するものである。

【0012】

その露光量制御パラメータは、一例として前記露光ビームの前記第2物体の移動方向の幅と、前記第2物体の移動速度と、前記パルスエネルギー源による露光ビームの発振周波数と、前記パルスエネルギー源から発射される露光ビームのエ

エネルギーとの内の少なくとも一つを含むものである。

斯かる本発明によれば、第 1 の区画領域への走査露光が終わってから、目標露光量の異なる第 2 の区画領域への走査露光を行う前に、その減光部材の透過率の設定を変更することなく、それ以外の積算露光量を制御できるパラメータ（露光量制御パラメータ）の調整を行って、新たな目標露光量が得られるようにする。これによって、テスト発光や機械的な調整（減光器の切り換え等）等の時間を要する動作を省くことができるため、スループットの低下が防止される。この際に、本発明では露光ビームとしてパルス光が使用されるため、例えばそのパルス光の周波数があまり高くない範囲では、その第 2 物体上の各点に対して所定の最小露光パルス数以上の露光パルス数で露光を行うという条件も満たすことが望ましい。

【 0 0 1 3 】

また、本発明では一例として前記第 2 物体上の中心からの距離に応じて異なる目標露光量が設定される。これはその第 2 物体の現像プロセス後の線幅の誤差がほぼ同心円状に発生する場合に、その誤差を補正するために有効である。

また、本発明による第 2 の露光方法は、露光ビームで第 1 物体（1 1）を照明し、この第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体（1 4）上の複数の区画領域（3 1 (2,1) ～ 3 1 (5,6)）を順次露光する露光方法において、前記第 2 物体上の複数の区画領域に対する目標露光量を、互いに異なる複数のレベルに分けて設定しておき、前記第 2 物体上の複数の区画領域に対して順次露光を行うに際して、機械的な切り換え動作及び前記露光ビームのテスト発光動作の何れをも要することなく変更できるパラメータを変更することによって、前記各区画領域に対する前記露光ビームの露光量を設定するものである。

【 0 0 1 4 】

斯かる本発明によれば、露光の途中で目標露光量を切り換える際に、時間を要する機械的な切り換え動作、及び露光ビームのテスト発光動作を行う必要が無いため、第 1 の露光方法と同様にスループットの低下が防止できる。

この場合、その露光ビームはパルス光源から射出されるパルス光であり、前記第 2 物体上の各区画領域に対する露光は、それぞれ前記第 2 物体と前記第 1 物体

とを前記露光ビームに対して同期移動することによって行われるときに、前記各区画領域に対して前記露光ビームの露光量を設定するために、前記パルス光源の発光周波数、前記パルス光源から射出される各パルス光の目標パルスエネルギー、及び前記第 2 物体の走査速度の内の少なくとも 1 つのパラメータを変更することが望ましい。これは、その第 2 の露光方法を走査露光方式に適用したものであり、その 3 つのパラメータの何れか、又は何れかの組み合わせを切り換えることで、上記の所定の最小露光パルス数以上のパルス数で露光する条件を満たすことができる。

【0015】

次に、本発明の第 1 の露光装置は、露光ビームで第 1 物体 (11) を照明し、この第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体 (14) 上の複数の区画領域を順次露光する露光装置において、前記露光ビームとしてのパルス光を発生するパルス光源 (1) と、前記第 1 物体及び第 2 物体を前記露光ビームに対して同期して移動するステージ系 (15, 19, 20) と、前記第 2 物体上の複数の区画領域に対する目標露光量を、互いに異なる複数のレベルに分けて記憶してある記憶部 (26a) と、前記第 2 物体上の複数の区画領域に対して順次露光を行うに際して、前記記憶部に記憶してある目標露光量に基づいて前記パルス光源の発光周波数、前記パルス光源から射出される各パルス光の目標パルスエネルギー、及び前記ステージ系による第 2 物体の走査速度の内の少なくとも 1 つのパラメータを変更する制御系 (26) とを有するものである。斯かる露光装置によって上記の本発明の露光方法を使用することができる。

【0016】

次に、本発明の第 3 の露光方法は、第 1 物体 (11) のパターンの像を投影光学系 (13) を介して第 2 物体 (14) 上に投影することによって、その第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光方法において、その第 2 物体、又はこの第 2 物体に代わる評価用の物体 (14P) からの反射光量をその投影光学系を介して検出し、この検出結果に基づいて、その複数の区画領域の目標積算露光量を設定するものである。

【0017】

斯かる露光方法によれば、その第 2 物体上にフォトレジスト等の感光膜が塗布されるものとする、その感光膜の厚さの分布によって現像後に最適な線幅のパターンを得るための目標積算露光量（設定露光量）の分布が定まる場合がある。このような場合には、一例としてその感光膜の厚さに応じて定在波効果によって反射光量が変化することを利用して、その第 2 物体上の複数の区画領域のそれぞれにおける反射光量を計測し、この計測結果よりその複数の区画領域における感光膜の厚さを求める。そして、例えば予め求めておいた、感光膜の厚さと最適露光量との関係から、各区画領域毎に目標積算露光量を最適化することができる。

【0018】

次に、本発明の第 2 の露光装置は、第 1 物体（11）のパターンの像を投影光学系（13）を介して第 2 物体（14）上に投影することによって、その第 2 物体上の複数の区画領域を順次露光する露光装置において、その第 2 物体からの反射光量をその投影光学系を介して検出する検出器（60）と、この検出器の出力に基づいて、その複数の区画領域の目標積算露光量を設定する制御系（26）とを備えたものである。この露光装置によって、本発明の第 3 の露光方法を使用することができる。

【0019】

この場合、その検出器は、その投影光学系の結像特性の調整のために併用されることが望ましい。その検出器によって、その第 2 物体で反射されてその投影光学系を通過する光量を計測でき、その計測結果よりその投影光学系の収差変動量等を求めることができる。そこで、その収差変動量に基づいてその投影光学系の結像特性を調整できる。

【0020】

また、本発明のデバイス製造方法は、上記の本発明の露光方法又は露光装置を用いてデバイスのパターンをワークピース上に転写する工程を含むものである。本発明によればその第 1 物体のパターンをデバイスのパターン、その第 2 物体をワークピース（ウェハ等の基板等）として露光を行うことによって、積算露光量が高精度に制御できるため、線幅精度等に優れた高精度のデバイスを量産することができる。

【 0 0 2 1 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光光源にパルス光源としてのエキシマレーザ光源を使用するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置において、露光量制御を行う場合に本発明を適用したものである。

【 0 0 2 2 】

図 1 は本例の投影露光装置を示し、この図 1 において、露光光源としてのエキシマレーザ光源 1 からパルス発光された露光ビームとしてのレーザビーム LB は、シリンダレンズやビームエキスパンダ等で構成されるビーム整形光学系 2 により、後続のオプティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）としてのフライアイレンズ 5 に効率よく入射するようにビームの断面形状が整形される。エキシマレーザ光源 1 としては、KrF（波長 248 nm）や ArF（波長 193 nm）等のエキシマレーザ光源が使用できる。また、エキシマレーザ光源 1 の代わりに、F₂ レーザ（波長 157 nm）や Kr₂ レーザ（波長 146 nm）等のパルス発光型のレーザ光源を使用する場合にも本発明が適用できる。更に、露光光源として、金属蒸気レーザ光源や YAG レーザの高調波発生装置、又は半導体レーザをエルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）等の光ファイバ増幅器で増幅してから波長変換するレーザ光源等を使用する場合にも本発明が適用できる。

【 0 0 2 3 】

ビーム整形光学系 2 から射出されたレーザビーム LB は、本発明の減光部材に対応するエネルギー粗調器 3 に入射する。エネルギー粗調器 3 は、図 3 に示すように、回転自在な 2 段のレボルバ 3 a, 3 c 上にそれぞれ透過率（= 1 - 減光率）の異なる複数個の ND フィルタを配置したものであり、そのレボルバ 3 a, 3 c を駆動モータ 3 b, 3 d で回転することにより、入射するレーザビーム LB に対する透過率を 100% から複数段階で切り換えることができるように構成されている。なお、そのエネルギー粗調器 3 を複数個の ND フィルタを備えた 1 段のレボルバ、又は透過率の異なる複数のメッシュフィルタ等を備えた 1 段若しくは複数段のフィルタ交換部材より構成してもよい。

【0024】

図1に戻り、エネルギー粗調器3から射出されたレーザビームLBは、光路折り曲げ用のミラーMを介してフライアイレンズ5に入射する。フライアイレンズ5は、後段のマスクとしてのレチクル11を均一な照度分布で照明するために多数の2次光源を形成する。フライアイレンズ5の射出面には照明系の開口絞り（いわゆる「σ絞り」）6が配置され、その開口絞り6内の2次光源から射出されるレーザビーム（以下、「パルス照明光IL」と呼ぶ）は、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ7に入射し、ビームスプリッタ7を透過した露光ビームとしてのパルス照明光ILは、第1リレーレンズ8Aを経て固定照野絞り（固定レチクルブラインド）9Aの矩形の開口部を通過する。また、固定照野絞り9Aの近傍に、レチクル11の走査方向に対応する位置及び幅が可変の開口部を有する可動照野絞り9Bも配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動照野絞り9Bを介して照野フィールドを更に制限することによって、不要な部分への露光が防止されるように構成されている。この場合、可動照野絞り9Bは、レチクルのパターン面に対する共役面上に配置され、固定照野絞り9Aは、その共役面から僅かにデフォーカスした位置に配置されている。

【0025】

固定照野絞り9A、及び可動照野絞り9Bを通過したパルス照明光ILは、第2リレーレンズ8B、及びコンデンサレンズ10を経て、レチクルステージ15上に保持されたレチクル11上の矩形の照明領域12Rを均一な照度分布で照明する。レチクル11上の照明領域12R内のパターンを投影光学系13を介して投影倍率 M_{RW} （ M_{RW} は例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 等）で縮小した像が、被露光基板としてのフォトリジストが塗布されたウエハ（wafer）14上の矩形の露光領域（照野フィールド）12Wに投影露光される。ウエハ14は例えば半導体（シリコン等）又はSOI（silicon on insulator）等の円板状の基板である。レチクル11及びウエハ14がそれぞれ本発明の第1物体及び第2物体に対応している。以下、投影光学系13の光軸AXに平行にZ軸を取り、その光軸AXに垂直な平面内で照明領域12Rに対するレチクル11の走査方向（即ち、図1の紙面に平行な方向）をY方向、その走査方向に垂直な非走査方向をX方向として説明

する。

【0026】

このとき、レチクルステージ15は例えばリニアモータ方式のレチクルステージ駆動部18により不図示のレチクルベース上をY方向に等速移動（走査）すると共に、X方向、Y方向、回転方向に同期誤差を補正するように微動する。レチクルステージ15上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計16により計測されるレチクルステージ15のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいてレチクルステージ駆動部18を介して、レチクルステージ15の位置及び速度を制御する。

【0027】

一方、ウェハ14は、不図示のウェハホルダを介してZチルトステージ（試料台）19上に載置され、Zチルトステージ19はXYステージ20上に載置されている。XYステージ20は、不図示のウェハベース上でX方向、Y方向にウェハ14のステップ移動を行うと共に、Y方向にウェハWを等速移動（走査）する。また、Zチルトステージ19は、ウェハ14のZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面に対するウェハ14の傾斜角を調整する機能を有する。Zチルトステージ19上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計22により計測されるXYステージ20のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいて、例えばリニアモータ方式のウェハステージ駆動部23を介してXYステージ20の位置、及び速度を制御する。Zチルトステージ19及びXYステージ20よりウェハステージが構成されている。

【0028】

また、ステージコントローラ17の動作は、不図示の装置全体を統轄制御する主制御系によって制御されている。そして、走査露光時には、XYステージ20のステップ移動によってウェハ14上の露光対象のショット領域を走査開始位置に移動する動作と、レチクル11をレチクルステージ15を介して、照明領域12Rに対して+Y方向（又は-Y方向）に速度 V_R で走査するのに同期して、ウ

エハ 1 4 を X Y ステージ 2 0 を介して、露光領域 1 2 W に対して - Y 方向（又は + Y 方向）に速度 $M_{RW} \cdot V_R$ （ M_{RW} はレチクル 1 1 から ウエハ 1 4 に対する投影倍率）で走査する動作とが、ステップ・アンド・スキャン方式で繰り返される。これによってウエハ 1 4 上の全部のショット領域にレチクル 1 1 のパターンの縮小像が転写される。なお、レチクル 1 1 とウエハ 1 4 との走査方向が逆であるのは投影光学系 1 3 が反転投影を行うからであり、投影光学系 1 3 が正立像を投影する場合にはレチクル 1 1 及びウエハ 1 4 の走査方向は同一になる。

【 0 0 2 9 】

また、Z チルトステージ 1 9 上のウエハ 1 4 の近傍に光電変換素子からなる照度むらセンサ 2 1 が常設され、照度むらセンサ 2 1 の受光面はウエハ 1 4 の表面と同じ高さに設定されている。照度むらセンサ 2 1 としては、パルス照明光 I L と同じ波長域（例えば波長 3 0 0 n m ~ 1 0 0 n m 程度）で感度があり、且つパルス照明光を検出するために高い応答周波数を有するフォトダイオード、又はフォトマルチプライア等の光電変換素子が使用できる。照度むらセンサ 2 1 の検出信号が不図示のピークホールド回路、及びアナログ／デジタル（A / D）変換器を介して露光コントローラ 2 6 に供給されている。

【 0 0 3 0 】

図 1 において、フライアイレンズ 5 から射出されてビームスプリッタ 7 で反射されたパルス照明光 I L は、集光レンズ 2 4 を介して光電変換素子よりなるインテグレータセンサ 2 5 で受光され、インテグレータセンサ 2 5 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A / D 変換器を介して出力 D S [digit] として露光コントローラ 2 6 に供給される。インテグレータセンサ 2 5 の出力 D S と、ウエハ 1 4 の表面上でのパルス照明光 I L の単位面積当たりのパルスエネルギー（露光量） $[m J / c m^2]$ との相関係数 $\alpha 1$ は予め求められており、その相関係数 $\alpha 1$ は露光コントローラ 2 6 に接続された磁気ディスク装置等の記憶部 2 6 a 内に格納されている。露光コントローラ 2 6 は、ステージコントローラ 1 7 からのステージ系（レチクルステージ 1 5 及びウエハステージ（1 9, 2 0））の動作情報に同期して、制御情報 T S をエキシマレーザ光源 1 に供給することによって、エキシマレーザ光源 1 の発光タイミング、及び発光パワー等を制御す

る。更に、露光コントローラ 26 は、エネルギー粗調器 3 の ND フィルタを切り換えることによって透過率を制御し、ステージコントローラ 17 は、ステージ系の動作情報に同期して可動照野絞り 9B の開閉動作を制御する。

【0031】

また、ビームスプリッタ 7 の裏面の反射面側で、照明光学系の瞳面と共役な位置に光电変換素子よりなる反射量モニタ 60 (本発明の検出器に対応する) が配置されている。この構成では、ウエハ 14 で反射されたパルス照明光 IL (反射光) は、投影光学系 13 から第 2 リレーレンズ 8A を介してビームスプリッタ 7 に戻り、ビームスプリッタ 7 で反射された光が反射量モニタ 60 に受光され、反射量モニタ 60 の検出信号 RS が露光コントローラ 26 に供給されている。露光中には、インテグレートセンサ 25 の検出信号より投影光学系 13 に入射する光量 (第 1 光量とする) がモニタされ、反射量モニタ 60 の検出信号よりウエハ 14 で反射されて投影光学系 13 を再び通過する光量 (第 2 光量とする) がモニタできるため、その第 1 光量と第 2 光量とを加算することによって、その投影光学系 13 を通過する全体の光量がモニタできる。

【0032】

また、その投影光学系 13 を通過する全体の光量の積分値に応じて、投影光学系 13 のディストーション (倍率誤差を含む)、及びベストフォーカス位置等の結像特性が経時的に変化する。そこで、予めその全体の光量の積分値と、その投影光学系 13 の結像特性の変化量との関係を求めて記憶部 26a に記憶しておき、露光中に露光コントローラ 26 はそのインテグレートセンサ 25、及び反射量モニタ 60 の検出結果より投影光学系 13 を通過する全体の光量の積分値を求め、この積分値より投影光学系 13 の結像特性の変化量を求める。そして、例えばその結像特性の変化量が許容範囲を超える恐れのある場合には、露光コントローラ 26 は、例えば不図示の結像特性補正装置 (投影光学系 13 の一部のレンズを駆動する装置等) を介して投影光学系 13 の結像特性を補正するか、又はベストフォーカス位置の変動量に合わせてウエハ 14 のフォーカス位置を補正する。これによって、常に最適な結像特性で露光が行われる。

【0033】

また、後述のように本例の反射量モニタ 6.0 は、ウエハ 14 上のフォトレジストの膜厚分布を計測するためのセンサとしても兼用される。これによって、装置構成が簡素化できる。

次に、本例の露光量制御系の構成につき図 2 を参照して説明する。

図 2 は、図 1 の投影露光装置の露光量制御系を示し、この図 2 のエキシマレーザ光源 1 の内部において、レーザ共振器 1 a からパルス的に放出されたレーザビームは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ 1 b に入射し、ビームスプリッタ 1 b を透過したレーザビーム LB が外部に射出される。また、ビームスプリッタ 1 b で反射されたレーザビームが光电変換素子よりなるエネルギーモニタ 1 c に入射し、エネルギーモニタ 1 c からの光电変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力 ES としてエネルギーコントローラ 1 d に供給されている。エネルギーモニタ 1 c の出力 ES に対応するエネルギーの制御量の単位は $[mJ/pulse]$ である。通常の発光時には、エネルギーコントローラ 1 d は、エネルギーモニタ 1 c の出力 ES が、露光コントローラ 26 より供給された制御情報 TS 中の 1 パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源 1 e 内の電源電圧を制御し、この電源電圧に応じてレーザ共振器 1 a における 1 パルス当たりのエネルギーが決定される。これによって、エキシマレーザ光源 1 から射出されるレーザビーム LB の平均のパルスエネルギーが、露光コントローラ 26 で指示された値となる。

【0034】

エキシマレーザ光源 1 の 1 パルス当たりのエネルギーは通常、所定の中心エネルギー E_0 において安定化されているが、その中心エネルギー E_0 の上下に所定範囲で変化できるように構成されている。また、エキシマレーザ光源 1 内のビームスプリッタ 1 b の外側には、露光コントローラ 26 からの制御情報に応じてレーザビーム LB を遮光するためのシャッタ 1 f も配置されている。

【0035】

更に、図 2 において、後述の相関係数の算出時、又は更新時には、エネルギーモニタ 1 c の出力 ES に対応する処理量がエネルギーコントローラ 1 d を介して露光コントローラ 26 に供給され、露光コントローラ 26 では、エネルギーモニ

タ 1 c の出力 E S に対応する処理量とインテグレータセンサ 2 5 の出力 D S との相関関係を求める。そして、走査露光時に露光コントローラ 2 6 は、所定の制御情報 T S をエネルギーコントローラ 1 d に送って、エキシマレーザ光源 1 に実質的に一定周期でパルス発光を行わしめ、各パルス照明光毎にインテグレータセンサ 2 5 からの出力 D S を積算して、順次ウエハ 1 4 上の各点での実際の積算露光量を間接的に求める。そして、その各点が図 1 の露光領域 1 2 W を通過した際の積算露光量がウエハ 1 4 上のフォトリジストに対する設定露光量（目標露光量）に所定の許容範囲（精度）で合致するように、露光コントローラ 2 6 は後述のようにエネルギー粗調器 3 における透過率の調整、及びエキシマレーザ光源 1 における 1 パルス当たりのエネルギーの微調整を行う。

【 0 0 3 6 】

次に、本例の投影露光装置による露光量制御動作の一例につき図 5 及び図 6 のフローチャートを参照して詳細に説明する。先ず本例の露光対象のレイヤでは、ウエハ上の位置によってフォトリジストに対する目標露光量（積算露光エネルギーの目標値）としての設定露光量が異なっている。これはそのレイヤの露光を行う所定ロット数のウエハについて共通である。

【 0 0 3 7 】

図 4 はその露光対象のウエハ 1 4 を示し、この図 4 において、ウエハ 1 4 の表面の被露光領域は X 方向、Y 方向にそれぞれ所定ピッチで複数の矩形のショット領域（本発明の「区画領域」に対応する）に分割されており、その X 方向に i 番目（ $i = 1 \sim 6$ ）で Y 方向に j 番目（ $j = 1 \sim 6$ ）の位置（ i, j ）のショット領域をショット領域 3 1 (i, j) で表す。この場合、外周部の枠状の第 1 のサブ領域 3 2 上の 1 6 個のショット領域 3 1 (2,1) \sim 3 1 (5,6) に対する設定露光量を S_1 、その内側の枠状の第 2 のサブ領域 3 3 上の 1 2 個のショット領域 3 1 (2,3) \sim 3 1 (5,5) に対する設定露光量を S_2 、中央部の第 3 のサブ領域 3 4 上の 4 個のショット領域 3 1 (3,3) \sim 3 1 (4,4) に対する設定露光量を S_3 とすると、3 個の設定露光量は互いに異なっている。即ち、設定露光量 S_k ($k = 1, 2, 3$) はウエハ 1 4 の中心に対して 3 段階でほぼ同心円状の分布に設定されている。

【0038】

その設定露光量 S_k の決定方法の一例につき説明すると、予めウエハ 14 と同じフォトリソが塗布されたテスト露光用の未露光の N_w 枚（本例では 3 枚以上）のウエハを用意し、これら N_w 枚のウエハの各ショット領域に対して順次、ウエハ毎に積算露光量を設計値を中心として所定量ずつ異なる値に設定しながらレチクル 11 のパターンの像を転写する。その後、全部のウエハの現像を行い、全部のウエハの各ショット領域に形成されたレジストパターンの線幅を例えば走査型電子顕微鏡（SEM）で個別に計測し、各ショット領域毎に目標とする線幅に最も近い線幅が得られたときの積算露光量、即ち適正露光量を求める。この際に、例えば 2 つの積算露光量の補間によって適正露光量を求めるようにしてもよい。そして、求められた適正露光量が所定の許容範囲内に収まっている 1 群のショット領域については、露光工程での制御を単純化するためにその 1 群の適正露光量の平均値を共通の設定露光量 S_k とする。これによって、ウエハ上の被露光領域を分割した複数のサブ領域上の 1 群のショット領域毎に、目標とするレジストパターンの線幅を得るための設定露光量 S_k が決定される。

【0039】

そのようなレジストパターンの線幅の差が生ずる要因としては、ウエハにフォトリソを塗布する際の厚さのむら、及びその厚さのむらに起因するウエハ上のフォトリソ内の定在波効果の不均一性が挙げられるが、その厚さのむらは通常はウエハの中心に対して同心円状に発生する。従って、そのフォトリソの塗布むらに起因する線幅の差を相殺するための設定露光量 S_k の分布も、図 4 のウエハ 14 のようにウエハの中心に対して同心円状になる傾向がある。また、そのフォトリソを現像する際の不均一性も、ウエハの中心に対して同心円状に発生する場合があります、この場合の設定露光量 S_k の分布も同心円状になる。従って、設定露光量 S_k の分布をウエハに対して同心円状に設定することによって、フォトリソの塗布むらのようにウエハに対して同心円状に発生する線幅のむらを補正することができる。

【0040】

なお、線幅のばらつきをより高精度に補正するために、ウエハの被露光領域を

更に多くのサブ領域に分割して、それぞれ設定露光量を定めてもよく、更には各ショット領域毎にそれぞれ設定露光量を定めるようにしてもよい。

このようにして半導体素子の各レイヤ毎に、ウエハ上の複数のサブ領域の設定露光量 S_k が決定され、決定された設定露光量 S_k のデータは、そのサブ領域に属するショット領域の位置 (i, j) の情報と共に、不図示のホストコンピュータの露光データファイルに格納される。

【0041】

そこで、図5のステップ101において、本例の投影露光装置のオペレータは、そのホストコンピュータの露光データファイルより、ウエハ上のこれから露光するレイヤの複数のサブ領域に対する設定露光量 S_k のデータを取り出し、ウエハ上の各位置 (i, j) のショット領域毎に設定露光量 S_k [mJ/cm^2] を対応付けたテーブルを露光コントローラ26の記憶部26aに記憶させる。本例では、設定露光量 S_k は、 S_1 , S_2 , S_3 の3段階 ($k=1, 2, 3$) に設定される。

【0042】

次のステップ102において、図1のエネルギー粗調器3の透過率を100%として、Zチルトステージ19上に露光対象のウエハを載置しない状態で、露光コントローラ26は、露光光源としてのエキシマレーザ光源1の出力（パルスエネルギー）を可変範囲の中央値 E_0 （中立値）に設定する。続いてステップ103において、露光コントローラ26はエキシマレーザ光源1に例えば数10パルス程度のテスト発光を行わせると共に、各パルス光毎にインテグレータセンサ25の出力 DS [digit] を取り込み、その出力 DS と上記の相関係数 α_1 とから次式のように投影光学系13の像面（ウエハの表面）上での平均パルスエネルギー P [mJ/cm^2] を算出する。

【0043】

$$P = \alpha_1 \cdot DS \quad (1)$$

この際に、露光コントローラ26は、図2に示すように各パルス光毎にエキシマレーザ光源1の内部のセンサとしてのエネルギーモニタ1cの出力 ES [mJ/pulse] を取り込み、インテグレータセンサ25の出力 DS をエネルギーモニ

タ 1 c の出力 E S に変換するための相関係数 $\alpha 2$ を算出する ($\alpha 2 = E S / D S$)。この相関係数 $\alpha 2$ も記憶部 2 6 a に記憶される。この相関係数 $\alpha 2$ は、本例ではエネルギー粗調器 3 の透過率の切り換えが行われる毎に、テスト発光によって算出される。

【 0 0 4 4 】

この際に、各パルス光毎にエネルギーのばらつきがあるため、出力 E S 及び D S の計測データは図 7 (a) の直線 5 1 に沿って分布する。そこで、例えば最小自乗法によって求めたその直線 5 1 の傾きの逆数、又は各パルス光毎に算出される相関係数 $\alpha 2$ の平均値を最終的に相関係数 $\alpha 2$ とする。

この相関係数 $\alpha 2$ を用いると、露光コントローラ 2 6 は、次式のようにインテグレータセンサ 2 5 の出力 D S からエネルギーモニタ 1 c の出力 E S を算出することができる。

【 0 0 4 5 】

$$E S = \alpha 2 \cdot D S \quad (2)$$

従って、エキシマレーザ光源 1 の出力をインテグレータセンサ 2 5 の出力 D S を基準として制御することができる。

次に、ステップ 1 0 4 において、図 1 の露光コントローラ 2 6 は、複数の設定露光量 S_k ($k = 1, 2, \dots$) に対するウエハ上の 1 点当たりの露光パルス数 N_k を算出する。即ち、関数 $\text{round}(x)$ を変数 x の小数点以下第 1 位の値の四捨五入を行う関数であるとする、 N_k は次のようになり、本例では N_1, N_2, N_3 が算出される。

【 0 0 4 6 】

$$N_k = \text{round}(S_k / P) \quad (k = 1, 2, 3) \quad (3)$$

次に、ステップ 1 0 5 において、その露光パルス数 N_k が、必要な露光量制御再現精度 A_E を得るために予め定められている最小露光パルス数 N_{\min} 以上であるかどうかを調べるために、露光パルス数 N_k ($k = 1, 2, \dots$) の最小値を N とする。これは、最小値を求める関数 $\min(x_1, x_2, \dots)$ を用いて次のように表すことができる。

【 0 0 4 7 】

$$N = \min(N_1, N_2, \dots) \quad (4)$$

そして、ステップ 1 0 6 において、その最小値 N と N_{\min} とを比較し、 $N < N_{\min}$ である場合には、露光パルス数 N_k を大きくする必要があるが、このためには (3) 式より像面上での平均パルスエネルギー P を小さくすればよい。そこで、ステップ 1 0 7 に移行して、露光コントローラ 2 6 は、図 1 のエネルギー粗調器 3 で設定できる複数段階の透過率 T の内で、 $N \geq N_{\min}$ が成立する範囲で最も大きい値（これも T とする）を選択し、エネルギー粗調器 3 の透過率をその値 T に設定する。その後再びステップ 1 0 3 に移行して、ステップ 1 0 3 ~ 1 0 6 までの動作を繰り返す。

【0 0 4 8】

この結果、エネルギー粗調器 3 の更新後の透過率 T のもとでの像面上の平均パルスエネルギー P 、及び (2) 式においてインテグレータセンサ 2 5 の出力 DS をエネルギーモニタ 1 c の出力 ES に換算するための相関係数 α_2 が更新される。この場合、エネルギー粗調器 3 の透過率 T が小さくなっているため、インテグレータセンサ 2 5 の出力 DS とエネルギーモニタ 1 c の出力 ES との関係は図 7 (a) の直線 5 2 に沿った計測データのようになり、相関係数 α_2 は大きくなる。即ち、その相関係数 α_2 はエネルギー粗調器 3 の透過率 T の関数である。そして、ステップ 1 0 6 で $N \geq N_{\min}$ が成立するときに、露光コントローラ 2 6 の動作はステップ 1 0 8 に移行して、次式より各設定露光量 S_k 毎にエキシマレーザ光源 1 の 1 パルス当たりのエネルギー（像面上での計測値に換算した値）の設定値 P_{tk} を求める。

【0 0 4 9】

$$P_{tk} = S_k / N_k \quad (k = 1, 2, 3) \quad (5)$$

上記の相関係数 α_1 及び α_2 を用いると、その設定値 P_{tk} はインテグレータセンサ 2 5 での出力 DS ($= P_{tk} / \alpha_1$) に換算でき、更にこのインテグレータセンサ 2 5 の出力 DS は、次のようにエキシマレーザ光源 1 内のエネルギーモニタ 1 c の出力 (E_{tk} とする) に換算することができる。

【0 0 5 0】

$$E_{tk} = (\alpha_2 / \alpha_1) P_{tk} \quad (6)$$

この後でステップ 1 0 9 の走査露光動作に移行する。この走査露光動作の詳細が図 6 のステップ 1 1 1 ~ 1 1 8 に表されている。

その図 6 のステップ 1 1 1 において、露光コントローラ 2 6 は、ウエハ上の各設定露光量 S_k ($k = 1, 2, \dots$) 毎の走査露光条件、即ち設定露光量 S_k 、ウエハ上の 1 点当たりの露光パルス数 N_k 、エキシマレーザ光源 1 の発光周波数 f_k 、エキシマレーザ光源 1 でのパルスエネルギーの設定値 E_{tk} 、ウエハの走査速度 V_k 、及びエネルギー粗調器 3 の透過率の共通の設定値 T を決定する。この際に、 S_k 、 N_k 、 E_{tk} 、 T の値は既に定まっており、変更できる値は発光周波数 f_k 及び走査速度 V_k のみである。

【0051】

この場合、図 1 のウエハ 1 4 上での露光領域 1 2 W の走査方向の幅を W_s (ここでは固定値とする)、ウエハステージ (XY ステージ 2 0) の最高走査速度を V_{\max} 、エキシマレーザ光源 1 の発光周波数の上限値を f_{\max} とすると、通常はウエハステージを最高速度で走査するのが最もスループットが高いため、先ず次のように走査速度 V_k を V_{\max} として、発光周波数 f_k を、ウエハ上の各点が N_k 個 (整数個) のパルス光で露光されるように設定する ($N_k = f_k \cdot W_s / V_{\max}$)。

【0052】

$$V_k = V_{\max}, \quad f_k = V_{\max} \cdot N_k / W_s \quad (7)$$

ところが、この際に $f_k > f_{\max}$ となる場合には、次のように発光周波数 f_k を f_{\max} として、走査速度 V_k をウエハ上の各点が N_k 個 (整数個) のパルス光で露光されるように設定する ($N_k = f_{\max} \cdot W_s / V_k$)。これによって、走査速度 V_k は、エキシマレーザ光源 1 の発光周波数が上限値 f_{\max} 以下となる条件下で最高値に設定される。

【0053】

$$f_k = f_{\max}, \quad V_k = W_s \cdot f_{\max} / N_k \quad (8)$$

このように設定された走査露光条件 (S_k , N_k , E_{tk} , T , f_k , V_k) を、図 4 のウエハ 1 4 上の各位置 (i, j) のショット領域 3 1 (i, j) 毎に対応付けて、記憶部 2 6 a に記憶させる。この際に、エネルギー粗調器 3 の透過率の

設定値 T は、全部のショット領域（全部の設定露光量 S_k ）に対して共通である。

【0054】

次に、ステップ 112 において、不図示のアライメントセンサを用いて、図 1 のレチクルステージ 15 上のレチクル 11 のアライメントが行われる。その後、ステップ 113 において、ウエハ露光の前処理として、図 1 の Z チルトステージ 19 上から露光済みのウエハが搬出されて、次に露光されるウエハ（ウエハ 14 とする）がロードされ、不図示のアライメントセンサを用いてウエハ 14 のアライメントが行われる。

【0055】

次に、図 4 に示すように、ウエハ 14 に対しては露光領域 12W を相対的に軌跡 30 に沿って移動させることによって露光を行うものとする（実際にはウエハ 14 側が移動する）、ショット領域 31(2,1), 31(3,1), … から順に走査露光が行われる。そこで、ステップ 114 において、露光コントローラ 26 は、ウエハ 14 上で次に露光を行う位置 (i, j) のショット領域に対する走査露光条件 $(S_k, N_k, f_k, E_{tk}, V_k, T)$ を記憶部 26a から読み出して、エキシマレーザ光源 1 及びステージコントローラ 17 に設定する。具体的に、発光周波数 f_k 及びパルスエネルギー E_{tk} の情報がエキシマレーザ光源 1 に供給され、走査速度 V_k の情報がステージコントローラ 17 に供給される。

【0056】

その後、ステップ 115 において、エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始され、図 4 に示すように露光領域 12W に対してウエハ 14 を走査方向 35 (Y 方向) に走査速度 V_k で走査することによって、当該ショット領域への走査露光が行われる。この際の露光量制御は一例として次のように行われる。

即ち、図 1 の露光コントローラ 26 は、エキシマレーザ光源 1 のパルス発光の開始前に発光パルス数 n を計数するための内部のレジスタよりなるパルスカウンタのリセットを行う。その後、レチクル 11 及びウエハ 14 が同期してそれぞれ等速走査されるようになって、ウエハ 14 上の露光対象のショット領域の端部が露光領域 12W にさしかかる直前（発光開始点）に到達してから、露光コントロ

ーラ 2 6 はエキシマレーザ光源 1 にパルス発光を開始させる。そして、各パルス発光毎に、露光コントローラ 2 6 はインテグレータセンサ 2 5 を介して各パルス照明光 I L のパルスエネルギーを計測する。

【0057】

本例では、エキシマレーザ光源 1 は、所定の単位パルス数当たりの積算エネルギーが一定になるようなフィードバック制御でパルス発光を行う。即ち、最小露光パルス数 N_{\min} よりも小さい所定の発光パルス数 N_{unit} の発光が行われる時間を単位時間 T_{unit} （これは発光周波数 f_k によって変化する）とすると、エキシマレーザ光源 1 は初期状態では、単位時間 T_{unit} 毎に出力されるパルス光のエネルギーモニタ 1 c によって計測されるエネルギー積算値が $E_{tk} \cdot N_{\text{unit}}$ となるようにパワーロックを行う。但し、これのみでは、パルスエネルギーのばらつき、及びドリフトによってウエハ上での積算露光量が設定露光量 S_k から外れる恐れがある。そこで、インテグレータセンサ 2 5 の計測値に基づいて、パルスエネルギーの誤差分を相殺するように、次にエキシマレーザ光源 1 で発光されるパルスエネルギーの調整を行う。

【0058】

この場合、 i パルス目（ $i = 0, 1, 2, \dots$ ）を発光させたときにインテグレータセンサ 2 5 を介して計測したパルスエネルギーを P_i とする。なお、 $P_0 = 0$ とする。そして、それまでに計測されたパルスエネルギー P_i を用いて、露光コントローラ 2 6 は次のように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出し、この目標値をエキシマレーザ光源 1 に設定する。そのように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出する方法の一例につき、図 9 の簡単化した例を用いて説明する。

【0059】

即ち、図 9 は、矩形の露光領域 1 2 W に対してウエハ 1 4 の露光対象のショット領域を $-Y$ 方向に移動して走査露光を行う場合を示している。この際に、パルス発光の 1 周期毎にウエハ 1 4 が移動する距離を Y_{step} として、ウエハ 1 4 上のショット領域を Y 方向に幅 Y_{step} の部分領域 A_1, A_2, \dots, A_6 に分割する。また、簡単のため、露光領域 1 2 W の走査方向の幅は、距離 Y_{step} の 4 倍である

、即ちウエハ 1 4 上の各点に対する露光パルス数を 4 として、その各点に対する積算露光量の目標値を $4 \cdot q$ とすると、その各点における 1 パルス目～4 パルス目の積算露光量の目標値はそれぞれ $q \sim 4 \cdot q$ となる。その q は、単位パルス当たりのパルスエネルギーの目標露光量である。また、ウエハ 1 4 上の各点は、部分領域 A 1, A 2, A 3, … 内のそれぞれ任意の点 A 1 a, A 2 a, A 3 a, … で代表することができる。又は、ウエハ 1 4 上の各点をウエハ 1 4 上で Y 方向に間隔 Y_{step} で配列された一列の点で代表してもよい。

【0 0 6 0】

この結果、第 1 の部分領域 A 1 (又は点 A 1 a、以下同様) が露光領域 1 2 W に入った時点で、目標露光量 q で 1 パルス目の露光が行われ (図 9 (a))、その 1 パルス目の実際の露光量 e_1 がインテグレータセンサ 2 5 を介して計測され、次に部分領域 A 1 に与えるべき目標露光量 D_{11} が次のように求められる。また、第 2 の部分領域 A 2 に対する目標露光量 D_{21} は q である。

【0 0 6 1】

$$D_{11} = 2 \cdot q - e_1 \quad (B1)$$

$$D_{21} = q \quad (B2)$$

次に第 2 の部分領域 A 2 が露光領域 1 2 W に入った時点で 2 パルス目の露光を行う際 (図 9 (b)) の露光量の目標値 e_2' は、所定の重み W_1, W_2 を用いて、次のようになる。

【0 0 6 2】

$$e_2' = (W_1 \cdot D_{11} + W_2 \cdot D_{21}) / (W_1 + W_2) \quad (B3)$$

この 2 パルス目の実際の露光量 e_2 も計測され、続いて部分領域 A 1, A 2, A 3 に与えるべき各目標露光量 D_{12}, D_{22}, D_{32} が次のように求められる。

$$D_{12} = 3 \cdot q - (e_1 + e_2) \quad (B4)$$

$$D_{22} = 2 \cdot q - e_2 \quad (B5)$$

$$D_{32} = q \quad (B6)$$

次に第 3 の部分領域 A 3 が露光領域 1 2 W に入った時点で 3 パルス目の露光を行う際 (図 9 (c)) の露光量の目標値 e_3' は、所定の重み W_1, W_2, W_3

を用いて、次のようになる。

【0 0 6 3】

$$e_3' = (W_1 \cdot D_{12} + W_2 \cdot D_{22} + W_3 \cdot D_{32}) / (W_1 + W_2 + W_3) \quad (B7)$$

その後、3パルス目の露光量 e_3 の計測値に基づいて、部分領域 $A_1 \sim A_4$ に与えるべき目標露光量 $D_{13} \sim D_{43}$ が次のように求められる。

$$D_{13} = 4 \cdot q - (e_1 + e_2 + e_3) \quad (B8)$$

$$D_{23} = 3 \cdot q - (e_2 + e_3) \quad (B9)$$

$$D_{33} = 2 \cdot q - e_3 \quad (B10)$$

$$D_{43} = q \quad (B11)$$

そして、4パルス目の露光を行う際（図9（d））の露光量の目標値 e_4' は、所定の重み $W_1 \sim W_4$ を用いて、次のようになる。

【0 0 6 4】

$$e_4' = (W_1 \cdot D_{13} + W_2 \cdot D_{23} + W_3 \cdot D_{33} + W_4 \cdot D_{43}) / (W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \quad (B12)$$

この後は、直前の3パルスの露光量の計測値より4個の部分領域（又は間隔 Y_{step} の一連の4個の点）での目標露光量 $D_{aj} \sim D_{dj}$ ($j = 4, 5, \dots$) が、(B8) 式～(B11) 式と同様に求められ、次のパルス光の露光量は、目標露光量 $D_{aj} \sim D_{dj}$ を (B12) 式の $D_{13} \sim D_{43}$ に代入した式より算出される。

【0 0 6 5】

この際に、本例では、重み $W_1 \sim W_4$ は、次のように露光終了点に近い側で同じか、又は大きくなるように設定されている。

$$W_1 \geq W_2 \geq W_3 \geq W_4 \quad (B13)$$

より具体的に、重みは次のように露光終了点に近い側でのみ有効な値を持つようにしてもよい。

【0 0 6 6】

$$W_1 = W_2 = 1, W_3 = W_4 = 0 \quad (B14)$$

又は、次のように露光終了点に近い側の重みが例えば指数関数的に急激に大き

くなるようにしてもよい。

$$W_1 > W_2 > W_3 > W_4 \quad (B 1 5)$$

これらによって、ウエハ 1 4 上の各点での積算露光量のばらつきが小さくなる。

【0 0 6 7】

また、次のパルスエネルギーの目標値を算出するためには次のような方法を用いてもよい。この場合、図 8 (a) に示すように、ウエハ 1 4 上の点 5 5 に対して今までに $(n-1)$ パルスの露光が行われ、 n パルス目の露光を持っている状態を想定する。この際のパルスエネルギーの制御は、 N_{unit} 個の発光パルス数を単位として行われる。

【0 0 6 8】

図 8 (a) において、矩形の露光領域 1 2 W は説明の便宜上非走査方向 (X 方向) の幅を狭く表現しており、露光領域 1 2 W に対するウエハ 1 4 の走査方向を +Y 方向としている。また、図 8 (b) の実線の折れ線の点 5 4 - 1 ~ 5 4 - $(n-1)$ は、点 5 5 が露光領域 1 2 W に対して移動する途中で与えられた積算露光量を表しており、図 8 (b) において、横軸は各露光パルスが照射されたときの点 5 5 の Y 座標に対応している。また、図 8 (b) の点線の直線 5 3 は、各パルス発光が行われる際の目標積算露光量を表しており、点 5 5 に対する積算露光量を N_k パルス目の露光によって設定露光量 S_k に所定の許容範囲で合致させるのが露光量制御の目的である。

【0 0 6 9】

この場合、図 9 の単位パルス当たりのパルスエネルギーの目標露光量 q に対応する値 (エネルギーモニタ 1 c での計測値に換算した値) は設定露光量 $E_k (= S_k / N_k)$ となる。そして、 i パルス目にインテグレータセンサ 2 5 を介して計測されたパルスエネルギー P_i を、エネルギーモニタ 1 c での計測値に換算した値を $E_i (= \alpha_2 \cdot P_i)$ とすると、 n パルス目の露光待ちの点 5 5 にとっての次パルスの目標露光量 $E_{tk}(n)$ を、所定の重率 (重み) W_A, W_B [無次元] を用いて次のようにする。

【0 0 7 0】

【数 1】

$$E_{tk}(n) = E_{tk} - W_A(E_{n-1} - E_{tk}) - W_B \sum_{i=n-1-N_{unit}}^{i=n-1} (E_i - E_{tk}) \quad (9)$$

【0071】

この(9)式において、右辺の第2項は、直前のパルスエネルギーの誤差($E_{n-1} - E_{tk}$)に重率 W_A を乗じて得られる直前のパルスの誤差相殺項であり、右辺の第3項は、その前の N_{unit} パルス分のパルスエネルギーの誤差の積分値に重率 W_B を乗じて得られる誤差相殺項である。即ち、本例では直前のパルスエネルギーの誤差、及びその前の N_{unit} パルス分のパルスエネルギーの誤差に基づいて、次のパルスエネルギーができるだけ目標値である E_{tk} に近付くような制御を行っており、2つの重率 W_A 、 W_B の比率によって制御精度を最適化することができる。露光コントローラ26は、各パルス光の発光毎にそのように算出されたパルスエネルギー $E_{tk}(n)$ をエキシマレーザ光源1に出力し、エキシマレーザ光源1はそれに応じた発光を行う。

【0072】

また、各パルス発光毎に露光コントローラ26は内部のパルスカウンタの値 n に1を加算した後、露光対象のショット領域が露光領域12Wを通過したかどうか、即ちウエハ14が露光終了点に到達したかどうかを判定する。これはステージコントローラ17からの各ステージの位置情報等から判定することができる。そして、露光終了点に達したときには、走査終了の処理、即ちパルス発光の停止を行う。

【0073】

また、ステップ127において、露光コントローラ26は、露光が終わったショット領域の間隔 Y_{step} の各点について、インテグレータセンサ25によって計測されるパルスエネルギーを積算して像面上での積算露光量 R_k ($k=1, 2, \dots$)を算出する。

図7(b)はこのようにショット領域の各点毎に算出される積算露光量 R_k の

一例を示し、この図 7 (b) の横軸はショット領域内の走査方向の位置 Y を示している。このとき、露光コントローラ 2 6 は、一連の積算露光量 R_k の平均値 R_{ave} 、最大値 R_{max} 、及び最小値 R_{min} を求め、これらのパラメータ R_{ave} 、 R_{max} 、 R_{min} の値がそれぞれ許容範囲内にあるかどうかを判別し、判別結果を不図示の主制御系に出力する。その後、図 6 のステップ 1 1 6 に移行して、ウエハ 1 4 上で次に露光するショット領域が有るときには、ステップ 1 1 7 に移行して次のショット領域を走査開始位置に移動してステップ 1 1 4 ~ 1 1 6 の露光動作を行う。

【0 0 7 4】

この際に、図 4 において、ショット領域 3 1 (6,2) からショット領域 3 1 (5,2) へ移行する際に設定露光量が S 1 から S 2 に切り換えられ、同様に異なるサブ領域間での移行が行われる度に設定露光量 S_k が切り換えられる。その後、全部のショット領域の露光が終了したときにはステップ 1 1 6 からステップ 1 1 8 に移行して、同一ロット内で未露光のウエハが有るかどうかをチェックする。そして、未露光のウエハが有るときには、ステップ 1 1 3 ~ 1 1 7 の動作が繰り返されて、次に露光するウエハが無くなったときに露光工程を終了する。この露光後のウエハが、現像工程、エッチング等のパターン形成工程、及びレジスト剥離工程等を所定回数経た後、ダイシング、ボンディング、パッケージング等の工程を経ることで、半導体デバイスが製造される。

【0 0 7 5】

上記のように本例では、一度ステップ 1 0 1 ~ 1 0 8 までの動作を行ってエネルギー粗調器 3 の透過率を設定すると、1 ロットのウエハの露光開始から露光終了まで、機械的な動作を伴うエネルギー粗調器 3 の透過率の変更が行われないと共に、エキシマレーザ光源 1 のテスト発光も行われず。従って、露光工程のスループットが高く維持されている。また、常に最小露光パルス数 N_{min} 以上のパルス数で露光が行われると共に、パルスエネルギーの微調整はエキシマレーザ光源 1 の出力調整で行われるため、露光量制御精度も高く維持されている。

【0 0 7 6】

なお、上記の実施の形態では、図 4 に示すようにウエハ 1 4 上の複数のショッ

ト領域を列毎（又は行毎）に順に露光しているが、その他に、先ず第 1 のサブ領域 3 2 内の各ショット領域に共通の設定露光量で露光し、次に第 2 のサブ領域 3 3 内の各ショット領域に共通の設定露光量で露光し、最後に第 3 のサブ領域 3 4 内の各ショット領域に同じ設定露光量で露光するというように、設定露光量の等しい複数のショット領域をまとめて露光するようにしてもよい。これによって、露光量制御パラメータの切り換え頻度が少なくなり、制御が容易になる。

【0 0 7 7】

また、例えば或るロットのウエハに露光を行う場合に、先頭のウエハに露光する際に、チップサイズ（ショット領域の大きさ）及び設定露光量の分布等の制御パラメータをテーブル化して記憶しておくことが望ましい。この後のウエハに対しては、そのテーブルに基づいて露光を行う、即ち予め決められた手順で露光を行うことによって、ウエハ内での不要な再計測動作を省略することができ、処理能力が向上する。

【0 0 7 8】

次に、図 1 の反射量モニタ 6 0 を用いて、ウエハ上の設定露光量を設定する方法につき説明する。この場合、図 1 の Z チルトステージ 1 9 上に、ウエハ 1 4 と同じデバイス製造プロセスを経ているフォトレジストが塗布されたパイロットウエハ（ウエハ 1 4 P とする）を載置して、各ショット領域にレチクル 1 1 のパターン像を順次露光する。その際に、反射量モニタ 6 0 を介して各ショット領域毎に検出信号 R S の平均値 R S 1, R S 2, … を求める。

【0 0 7 9】

図 1 0 は、そのようにして求められた検出信号 R S を示し、この図 1 0 において、ウエハ 1 4 P の露光面は位置 (i, j) のショット領域 3 1 (i, j) に分割されており、各ショット領域毎に反射量モニタ 6 0 の検出信号 R S の平均値 R S 1, R S 2, … が求められる。この場合、図 1 2 に示すように、ウエハ 1 4 P の表面にはそれまでのプロセスによって段差構造があると共に、その上のフォトレジスト層 6 2 自体の厚さむらもあるために、フォトレジスト層 6 2 の厚さ d 0, d 1, d 2 は位置によって異なっており、その厚さによって反射率、ひいては検出信号 R S の平均値 R S k (k = 1, 2, …) が変化する。そこで、図 1 の露光コ

ントローラ 2 6 は、その検出信号 R S の平均値 R S k より各ショット領域 3 1 (i, j) 毎のフォトレジストの膜厚を求める。

【0 0 8 0】

また、予め例えばテストプリント等によって、そのフォトレジストの膜厚と適正露光量（設定露光量）との関係が求められて記憶部 2 6 a に記憶されている。その関係は、照明条件やプロセス条件（ショット領域内の最小線幅等）の関数としても求められている。その関係に基づいて露光コントローラ 2 6 は、各ショット領域 3 1 (i, j) 毎の設定露光量を求め、所定の許容範囲を用いてその設定露光量を例えば 4 段階程度に分類する。この結果、図 1 1 に示すように、ウエハ 1 4 P 上の露光領域は、ほぼ同心円状に分離された 4 個のサブ領域 6 1 A ~ 6 1 D に分割され、サブ領域 6 1 A ~ 6 1 D 毎に設定露光量が共通に設定される。この後に露光するウエハに対しては、そのようにして設定された設定露光量に基づいて高い露光量制御精度で露光を行うことができる。

【0 0 8 1】

なお、上記の実施の形態は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものであるが、本発明は一括露光型の露光装置で露光を行う場合にも適用することができる。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0 0 8 2】

【発明の効果】

本発明の第 1 の露光方法によれば、パルス光を用いた走査露光方式で基板上の複数の領域（サブ領域）に互いに異なる目標露光量で露光を行う際に、露光動作が中断する機械的な切り換え動作等を少なくできるため、露光量の制御精度を低下させることなく、スループットの低下を防止できる。

【0 0 8 3】

また、本発明の第 2 の露光方法によれば、同様に一括露光方式で露光を行う場合にも露光量の制御精度を低下させることなく、スループットの低下を防止できる。また、本発明の第 3 の露光方法によれば、第 2 物体上での目標露光量を迅速

に設定することができる。

従って、これらの露光方法をデバイス製造方法に適用することによって、線幅精度等に優れた高精度のデバイスを高いスループットで量産できる。

【0084】

そして、本発明の各露光装置によれば、対応する露光方法を使用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例で使用されるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示す構成図である。

【図2】 図1の投影露光装置の露光量制御系を示すブロック図である。

【図3】 図1中のエネルギー粗調器3の構成例を示す図である。

【図4】 その実施の形態で露光対象とするウエハのショットマップを示す平面図である。

【図5】 その実施の形態の一例における走査露光の前処理を示すフローチャートである。

【図6】 その実施の形態の一例における走査露光時の露光量制御動作を示すフローチャートである。

【図7】 (a) はインテグレータセンサ25の処理量と、エネルギーモニタ1cの処理量との相関データの一例を示す図、(b) はウエハ上のショット領域内の一連の複数点における積算露光量の一例を示す図である。

【図8】 ウエハ上の或る点に対してnパルス目の露光を行う場合の目標パルスエネルギーの算出方法の説明図である。

【図9】 簡単な場合について次のパルス光の目標エネルギーを算出する場合の説明図である。

【図10】 ウエハ上のショット領域毎に反射量を求める動作の説明図である。

【図11】 ウエハ上でほぼ同心円状に設定された複数の設定露光量を示す平面図である。

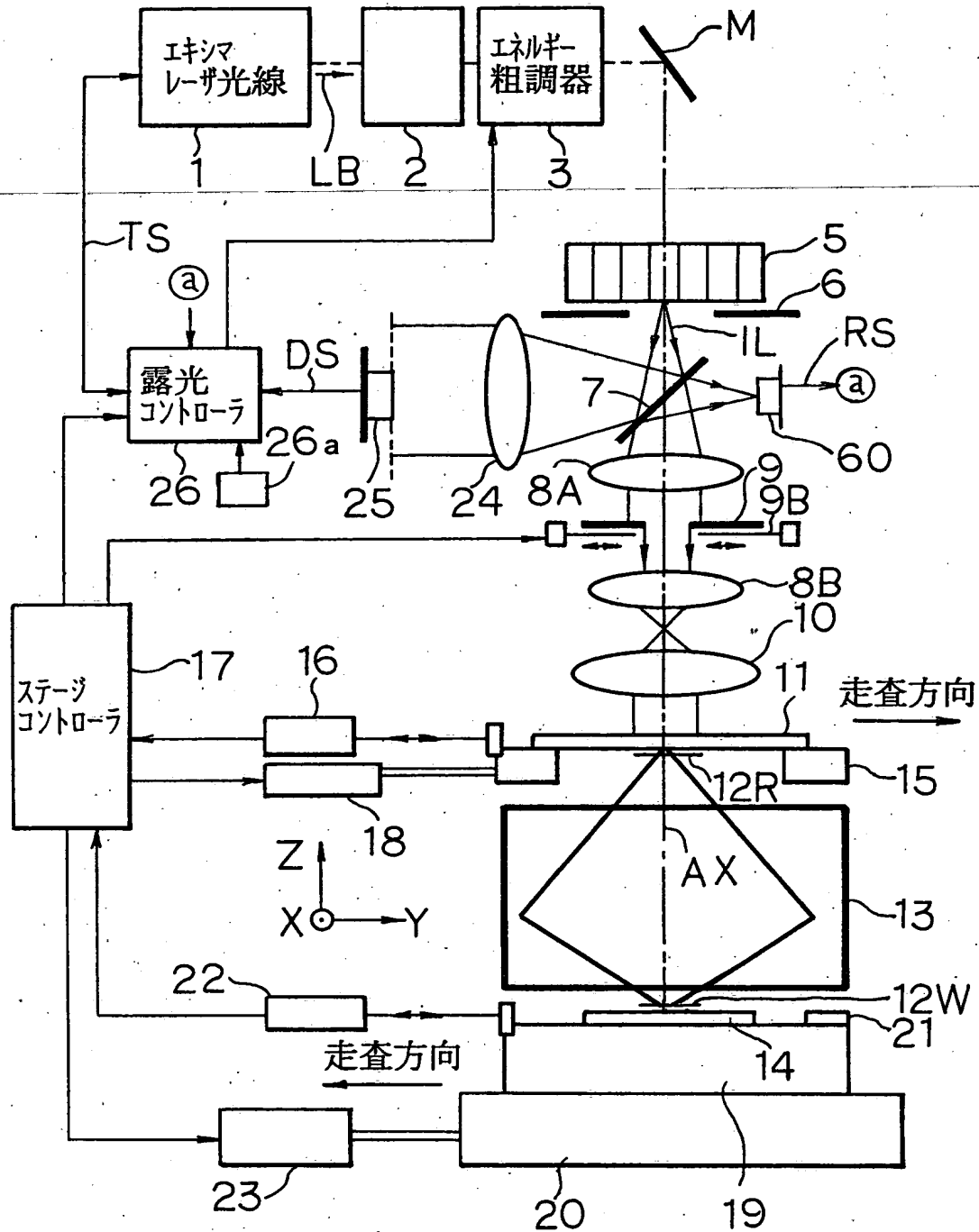
【図12】 ウエハ上のフォトリジストの膜厚の分布の一例を示す拡大断面図である。

【符号の説明】

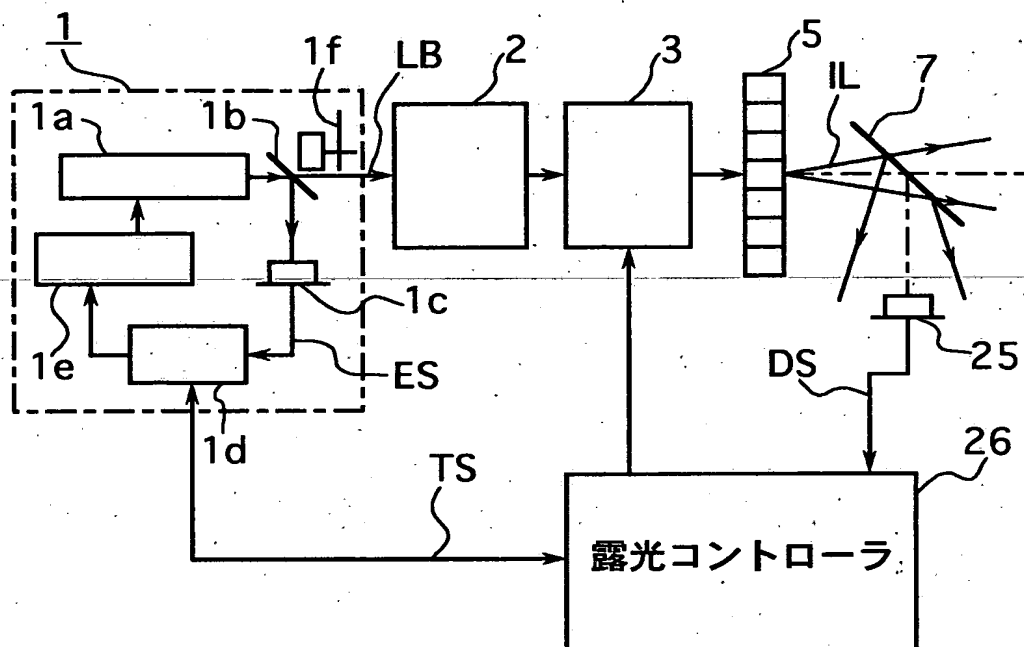
1 …エキシマレーザ光源、1 c …エネルギーモニタ、1 d …エネルギーコントローラ、1 e …高圧電源、2 …ビーム整形光学系、3 …エネルギー粗調器、7 …ビームスプリッタ、9 B …可動照野絞り、1 0 …コンデンサレンズ、1 1 …レチクル、1 2 W …ウエハ上での矩形の露光領域、1 3 …投影光学系、1 4 …ウエハ、1 5 …レチクルステージ、1 7 …ステージコントローラ、1 9 …Zチルトステージ、2 0 …XYステージ、2 1 …照度むらセンサ、2 5 …インテグレートセンサ、2 6 …露光コントローラ

【書類名】 図面

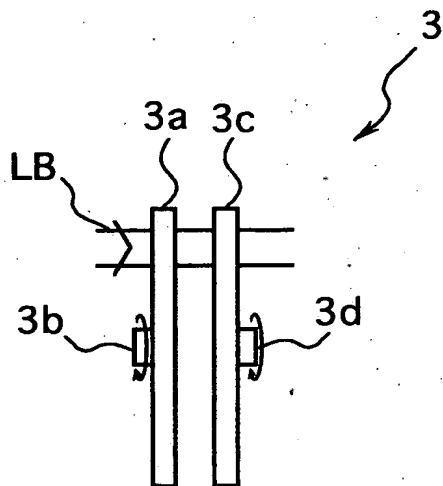
【図 1】



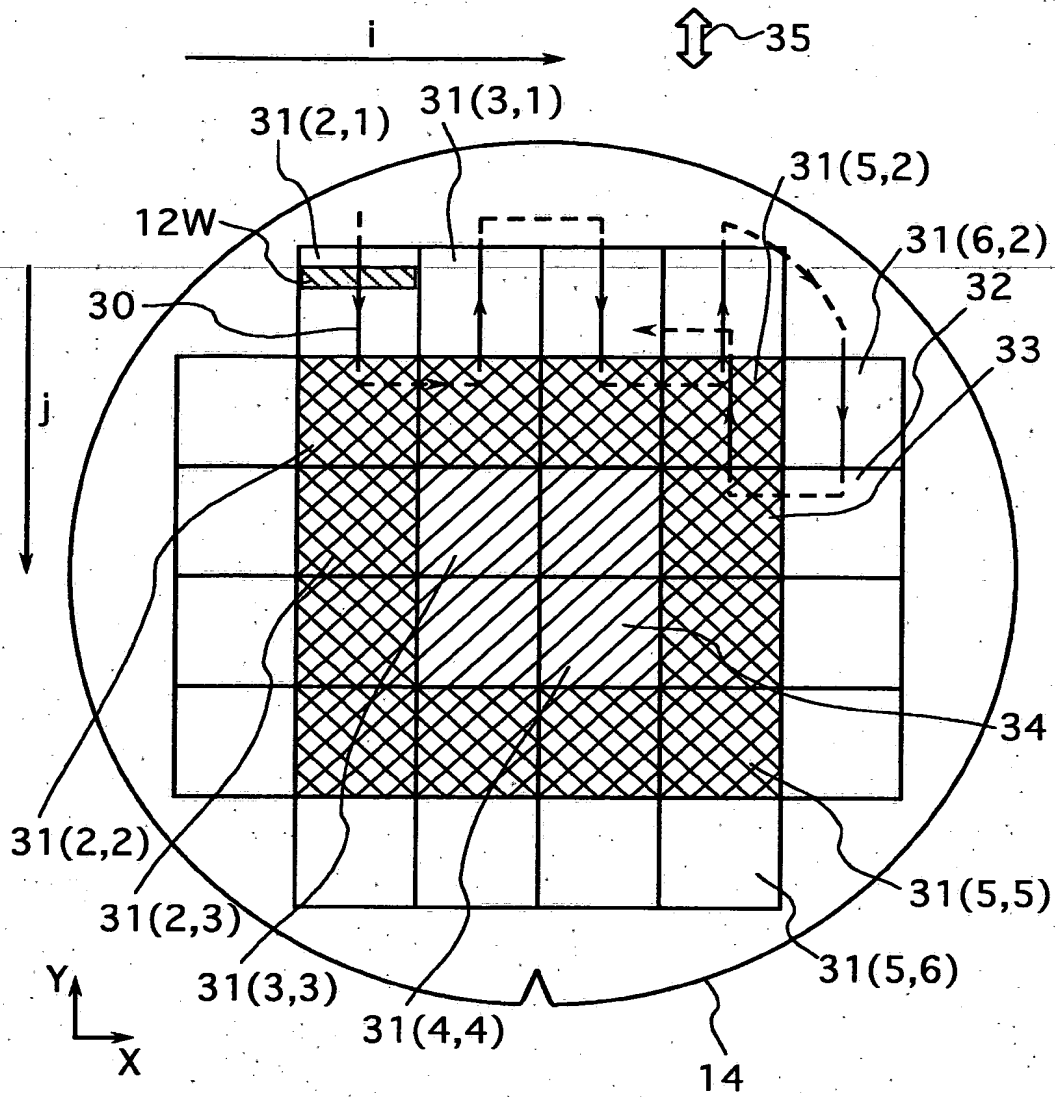
【図 2】



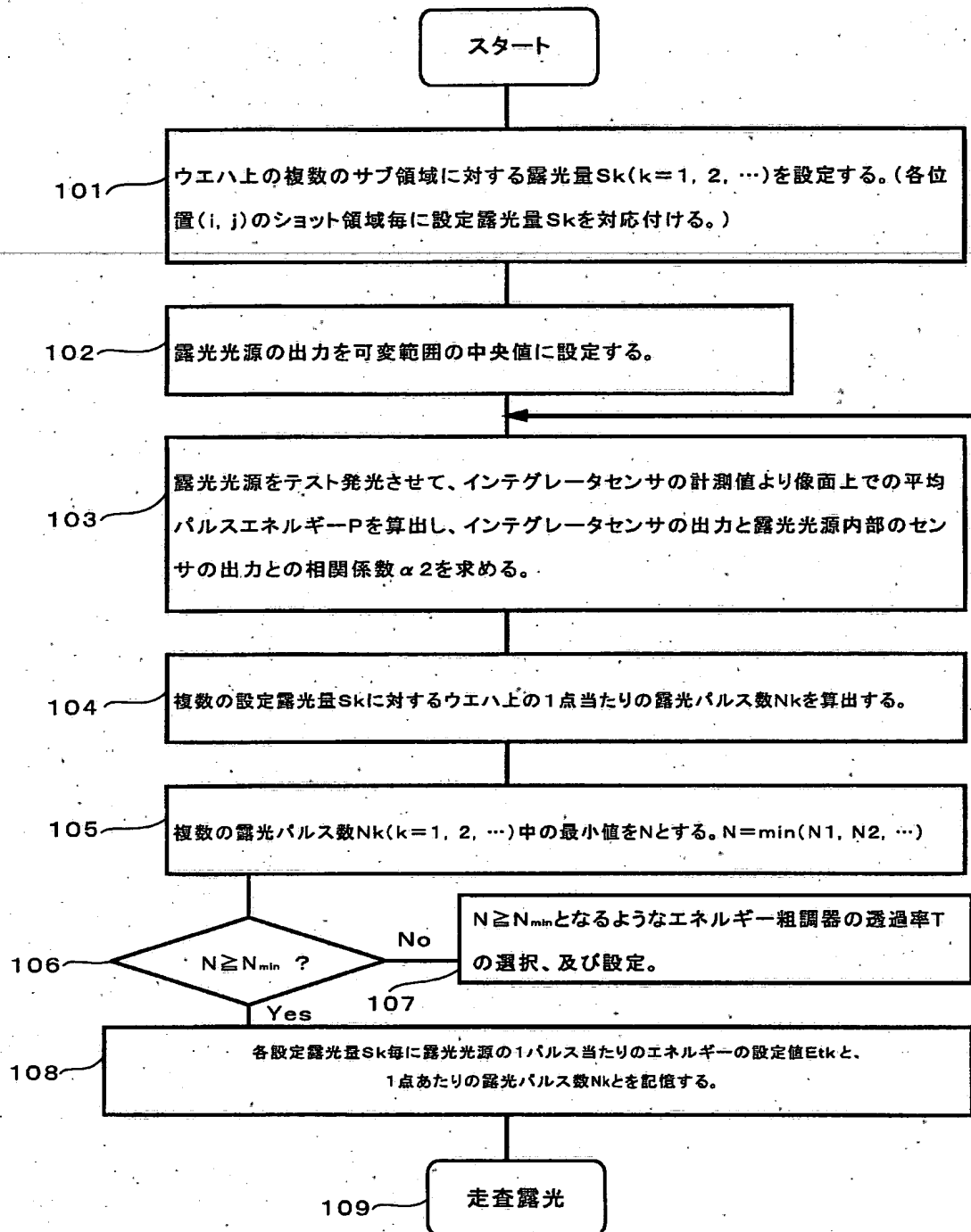
【図 3】



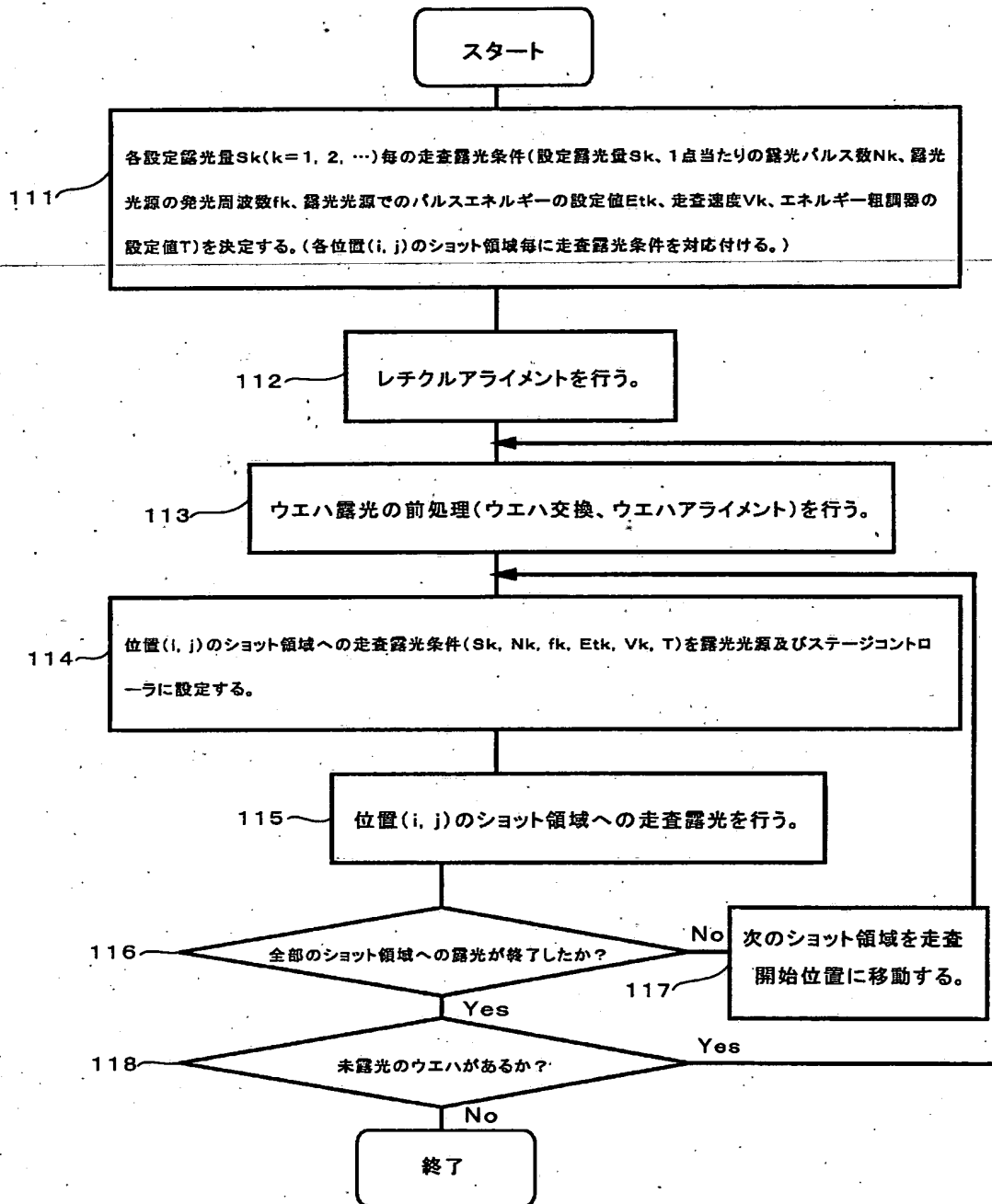
【図 4】



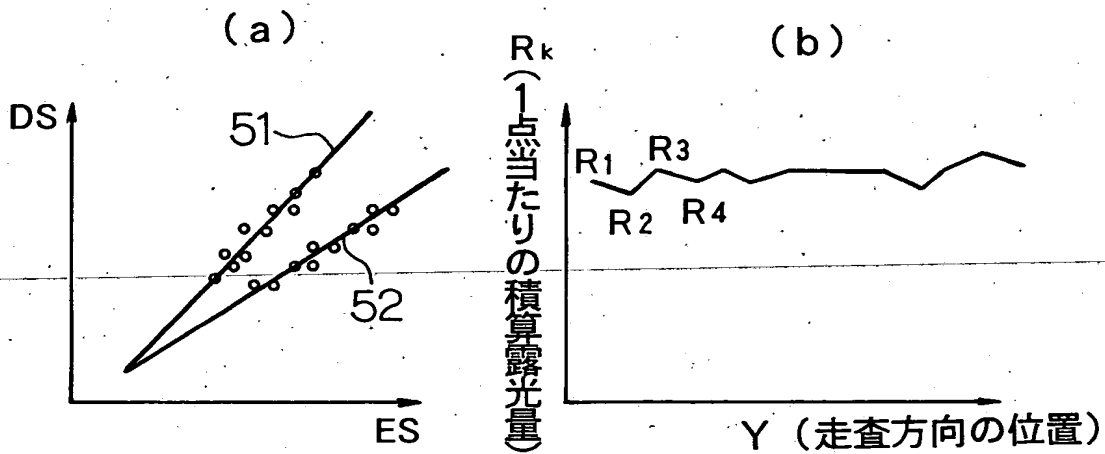
【図 5】



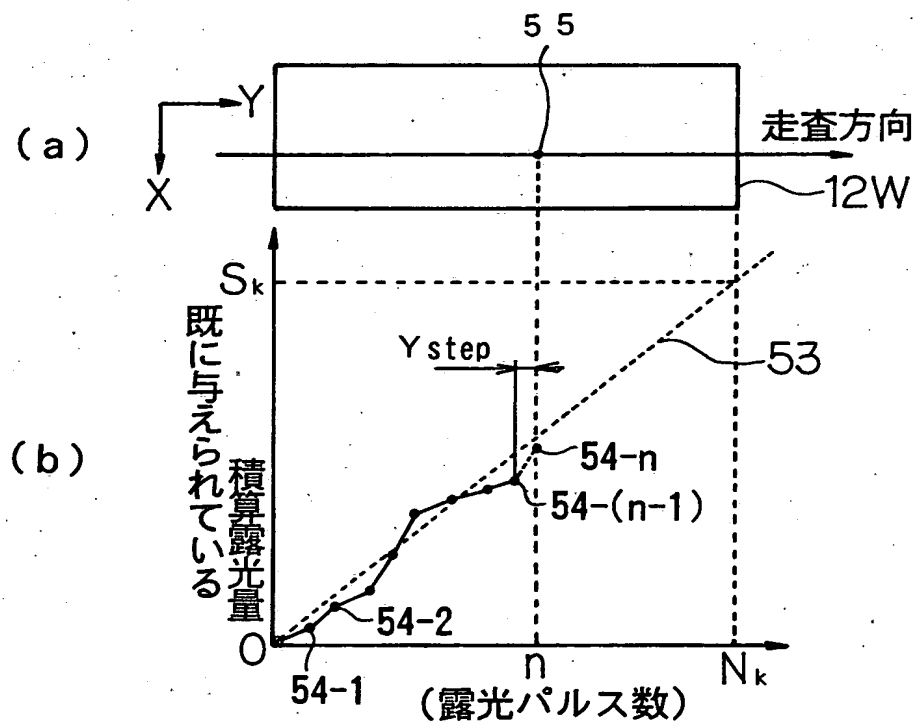
【図 6】



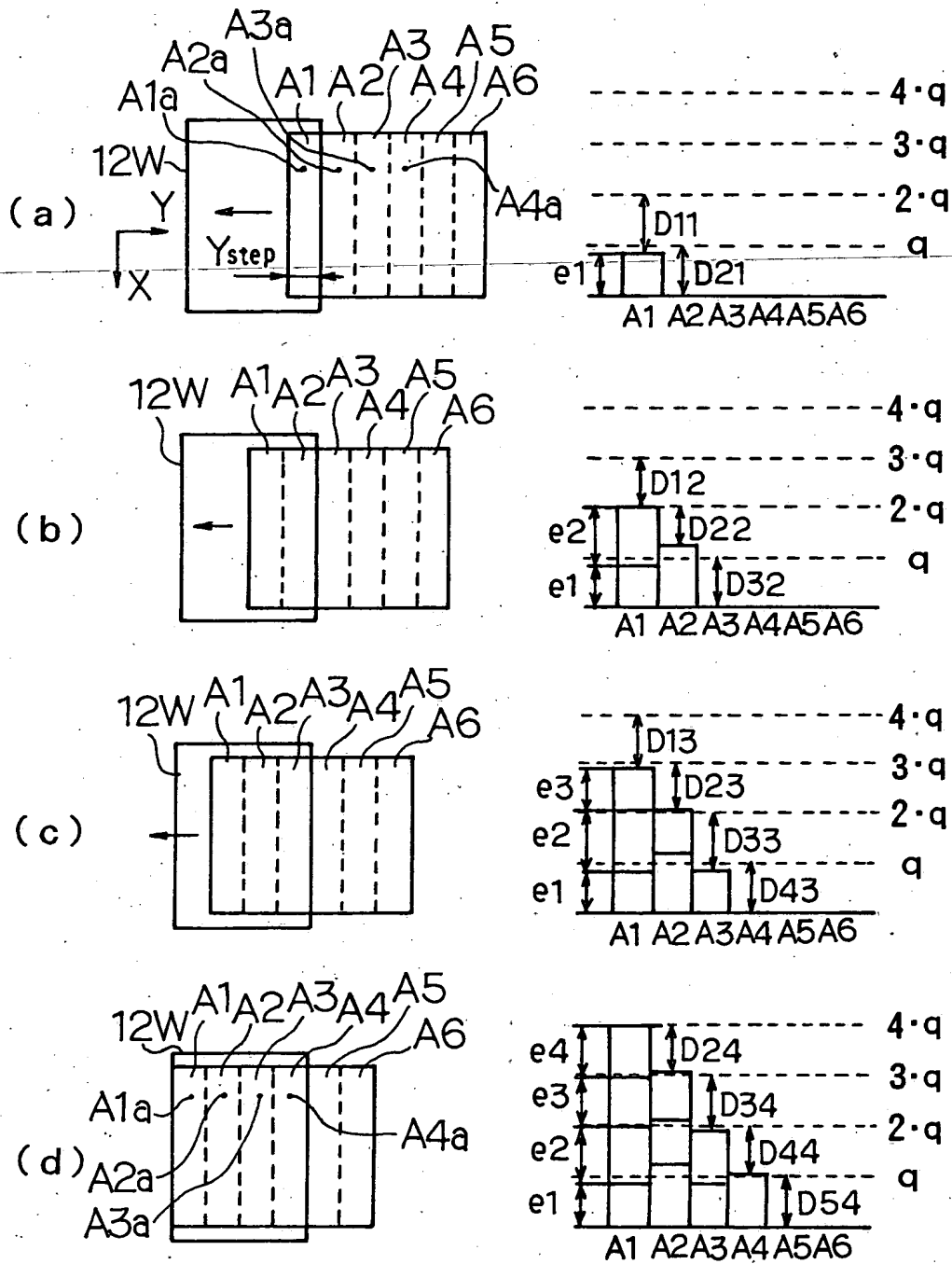
【図 7】



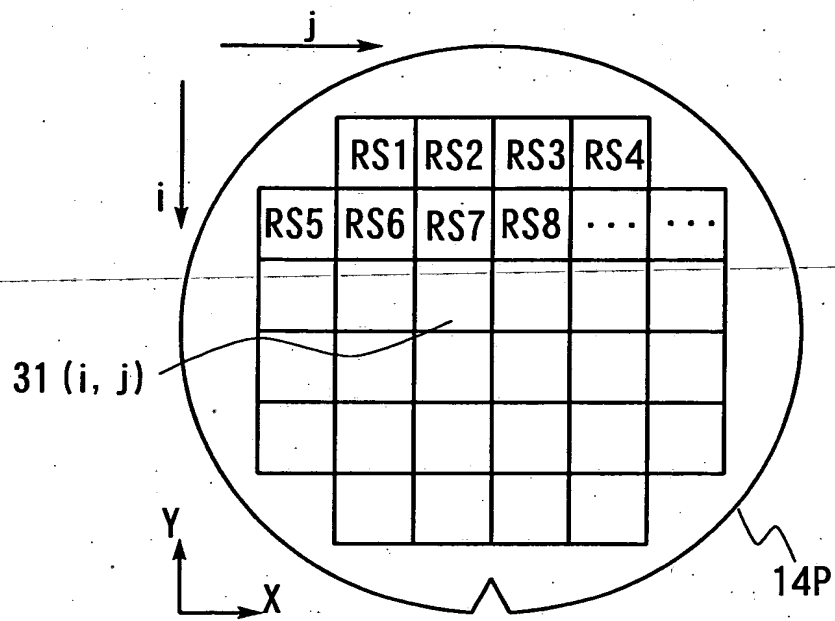
【図 8】



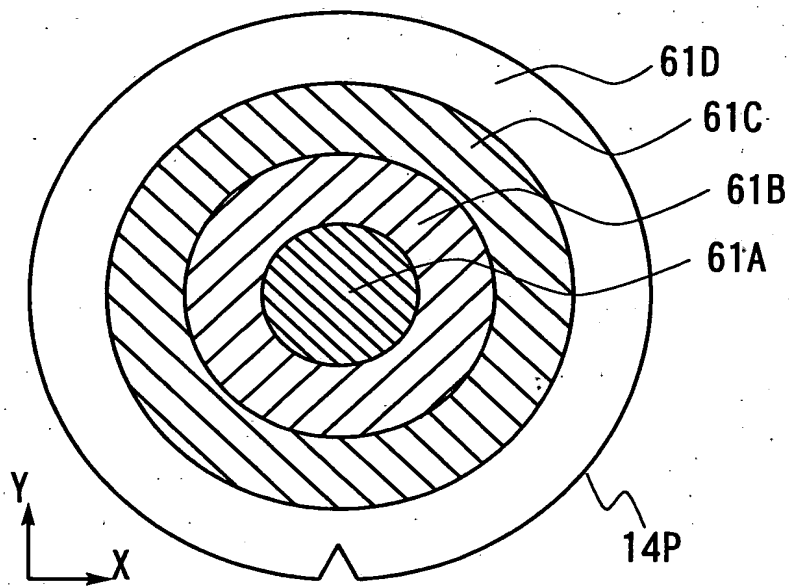
【図 9】



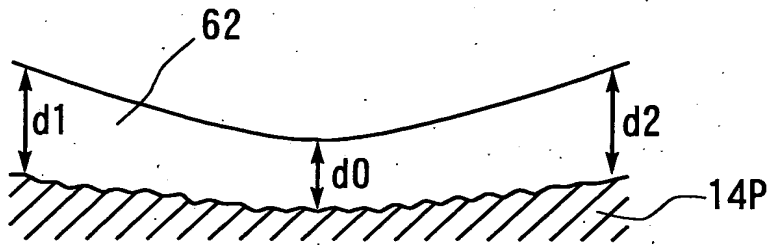
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 パルス光源を用いて走査露光を行うに際して、基板上の複数の領域に互いに異なる目標露光量で露光を行う場合に、露光量の制御精度を高く維持すると共に、スループットの低下を防止する。

【解決手段】 エキシマレーザ光源 1 からのパルス光を用いてウエハ 1 4 上の複数のサブ領域上のショット領域に対して、互いに異なる目標露光量で走査露光を行う。複数の ND フィルタを備えたエネルギー粗調器 3 の透過率を、露光パルス数が最も小さくなるサブ領域で所定の最小露光パルス数以上のパルス数が得られるように設定し、走査露光中にはエネルギー粗調器 3 の透過率を固定して、パルスエネルギーのばらつきを補正するために、インテグレートセンサ 2 5 の計測値に基づいてエキシマレーザ光源 1 の出力を制御する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月 29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

氏 名 株式会社ニコン